



①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 197 01 055 A 1**

⑤1 Int. Cl.⁶:
G 01 L 9/02
H 01 L 49/00
// G 01 L 9/06

②1 Aktenzeichen: 197 01 055.5
②2 Anmeldetag: 15. 1. 97
④3 Offenlegungstag: 16. 7. 98

DE 197 01 055 A 1

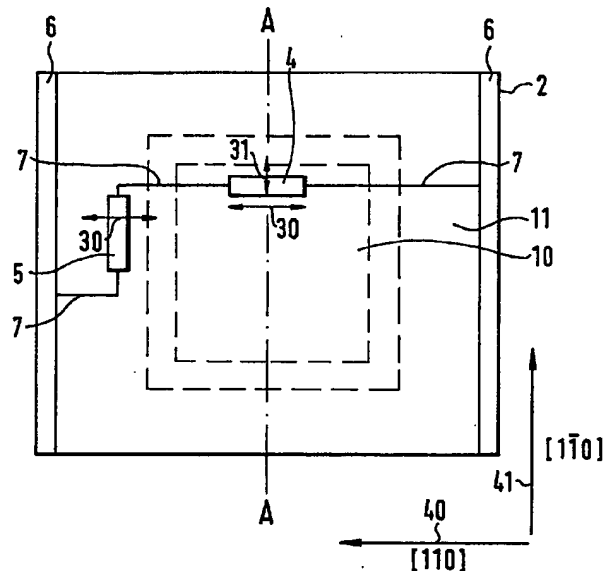
⑦1 Anmelder:
Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart, DE

⑦2 Erfinder:
Schatz, Oliver, 72760 Reutlingen, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

⑤4 Halbleiter-Drucksensor

⑤7 Es wird ein Drucksensor vorgeschlagen, welcher auf dem piezoresistiven Effekt beruht. Hierbei bewirkt ein von außen wirkender Druck eine Deformation eines auf einer Membran angeordneten Widerstandes, welcher aufgrund dieser Deformation seinen Widerstand ändert. Da dieser Widerstand gleichermaßen empfindlich auf eine Deformation durch eine interne mechanische Störspannung reagiert, wird eine Anordnung vorgeschlagen, welche mit Hilfe eines Kompensationswiderstandes den Effekt der inneren mechanischen Störspannung aufhebt. Diese Anordnung dient unter anderem der Kompensation von Temperaturhysteresen bei integrierten Sensoren, wobei diese Hysterese hauptsächlich durch Metallisierungsebenen im Drucksensor sowie deren temperaturabhängiges Kriechen verursacht wird.



DE 197 01 055 A 1

Die Erfindung geht aus von einem Drucksensor nach der Gattung des unabhängigen Anspruchs.

Aus der EP 0 146 709 ist schon ein Drucksensor bekannt. Der Drucksensor basiert auf einem Siliziumwafer in (001)-Orientierung, welcher in einem kleinen Bereich, der die sensitive Zone darstellt, auf eine wenige Mikrometer dicke Membran herabgedünnt wurde. Diese Membran verformt sich durch einseitig eingeleiteten Druck. Diese Verformung wird unter Ausnutzung des piezoresistiven Effekts gemessen. Hierzu befinden sich auf der Membran vier Meßwiderstände, deren elektrischer Widerstand sich aufgrund der Verformung ändert. Die vier Meßwiderstände sind mit Elektroden verbunden, welche sich auf dem nicht gedünnten Teil des Substrats befinden. Über diese Elektroden ist eine Messung des elektrischen Widerstands des Meßwiderstands und somit auch des auf die Membran wirkenden Drucks möglich.

Durch das temperaturbedingte Fließen des Elektrodenmaterials kann es bei Drucksensoren dieser Art jedoch zu Änderungen in der Kennlinie des Bauteils kommen, welche von der Temperaturgeschichte abhängig sind, sogenannten Hystereseeffekten.

Vorteile der Erfindung

Der erfindungsgemäße Drucksensor mit den kennzeichnenden Merkmalen des Hauptanspruchs hat demgegenüber den Vorteil, daß die oben genannten Hystereseeffekte kompensiert werden.

Durch die in den abhängigen Ansprüchen aufgeführten Maßnahmen sind vorteilhafte Weiterbildungen und Verbesserungen des im Hauptanspruch angegebenen Drucksensors möglich. Besonders vorteilhaft ist es, auf der Membran vier Meßwiderstände anzuordnen, welche als Wheatstone-Brücke verschaltet sind. Durch diese Anordnung ergibt sich eine besonders empfindliche Messung des elektrischen Widerstands, bzw. dessen Änderungen durch den von außen angelegten Druck.

Weiterhin ist es vorteilhaft, die Elektroden aus Aluminium zu fertigen, da Aluminium besonders einfach zu verarbeiten ist. Darüber hinaus bietet es den Vorteil, durch seine niedrige Fließgrenze eine interne mechanische Störspannung zu erzeugen, welche für die Hysteresekompensation herangezogen werden kann.

Es ist vorteilhaft, jedem Meßwiderstand einen Kompensationswiderstand zuzuordnen, da hierdurch die größtmögliche Genauigkeit erzielt wird. Durch die Verwendung eines Halbleitersubstrats und das Erzeugen der Widerstände durch dotierte Zonen im Halbleiter ergibt sich eine besonders preisgünstige Möglichkeit, Widerstände auf eine Membran aufzubringen. Darüber hinaus stehen dann zur Produktion des Drucksensors mit Hystereseaussgleich alle bekannten Möglichkeiten der Mikromechanik und Mikroelektronik zur Verfügung.

Besonders vorteilhaft ist es, Silizium als Halbleiter zu verwenden, da dieses Material die Integration von Sensorelement und Auswerteelektronik auf einem Chip ermöglicht.

Schließlich ist es besonders vorteilhaft, das Siliziumsubstrat in einer (100)-Orientierung zu verwenden, da diese Oberfläche einerseits die einfache Herstellung der Membran durch Kaliumhydroxidätzen erlaubt, und andererseits zwei [011]-Richtungen in der Substratoberfläche aufweist, in welchen die Leitfähigkeit besonders empfindlich auf die De-

Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in der Zeichnung dargestellt und in der nachfolgenden Beschreibung näher erläutert. Es zeigen Fig. 1 eine Aufsicht auf einen ersten Drucksensor mit Hystereseaussgleich, Fig. 2 einen Querschnitt durch einen ersten Drucksensor mit Hystereseaussgleich, Fig. 3a-d einen Querschnitt durch ein Substrat mit einer metallischen Elektrode auf einer Oberfläche, Fig. 4 einen zweiten Drucksensor mit Hystereseaussgleich.

Beschreibung

Fig. 1 zeigt die Aufsicht auf einen ersten einfachen Drucksensor. Eine Schnittzeichnung dieses Drucksensors entlang der Schnittlinie A-A ist in einer der folgenden Figuren dargestellt. Der Drucksensor ist auf einem Substrat 2 aus Silizium hergestellt, welches eine (100)-Orientierung aufweist. Auf der Unterseite der Membran, welche in der hier gewählten Darstellung nicht sichtbar ist, befindet sich eine pyramidenstumpfförmige Vertiefung. Ihre Ausformung ist dergestalt, daß die Spitze der Pyramide dem Betrachter zugewandt ist, und daß am Ort des Pyramidenstumpfs nur Siliziummaterial einer geringen Restdicke, die Membran 10, übrigbleibt. Die Begrenzungslinien des Pyramidenstumpfs sind in Fig. 1 gestrichelt gezeichnet und liegen parallel zu den [110]- und $\overline{[110]}$ -Richtungen, deren Verlauf in Fig. 1 mit den Pfeilen 40 und 41 gekennzeichnet ist. Der nicht gedünnte Teil des Siliziumsubstrats 2 wird im nachfolgenden auch Träger 11 genannt. Auf der Membran 10, nahe der Membrankante, befindet sich der Meßwiderstand 4, der in [110]-Richtung verläuft. Auf dem Träger 11 befinden sich zwei Elektroden 6, welche im hier gewählten Ausführungsbeispiel aus aufgedampftem Aluminium bestehen, wobei je eine Elektrode vor und eine Elektrode hinter dem Meßwiderstand 4 als langgezogene, senkrecht zum Meßwiderstand 4 verlaufende Metallisierung ausgebildet ist. Senkrecht zur Richtung des Meßwiderstands 4, in $\overline{[110]}$ -Richtung verlaufend, befindet sich bei der linken Elektrode ein Kompensationswiderstand 5. Der Kompensationswiderstand 5 ist mit einem Ende über einen Verbindungsleiter 7 mit dem Meßwiderstand 4 verbunden, mit seinem anderen Ende über einen zweiten Verbindungsleiter 7 mit der Elektrode 6. Die Doppelpfeile 30 und 31, 32 kennzeichnen mechanische Spannungen, welche bei der Erklärung der Funktionsweise des Drucksensors mit Hystereseaussgleich zum Tragen kommen werden.

Fig. 2 zeigt einen Querschnitt durch den Drucksensor aus Fig. 1. Hierbei wurden gleiche Teile mit den gleichen Bezugszeichen versehen. Das Substrat 2 weist eine im Querschnitt trapezförmige Vertiefung auf, welche durch den Träger 11 und die Membran 10 begrenzt wird. In der Oberfläche der Membran 10 befindet sich der Meßwiderstand 4. Der Meßwiderstand 4 ist durch Einbringen einer lokalen Dotierungszone in das Siliziummaterial realisiert.

Die Funktionsweise des Drucksensors mit Hystereseaussgleich sei anhand der Fig. 1 erläutert.

Durch einen von außen auf den Drucksensor einwirkenden Druck wird der Drucksensor mechanisch elastisch verformt. Die Dicke des Trägers 11 beträgt typischerweise mehrere 100 μm , während die Dicke der Membran 10 typischerweise mehrere μm beträgt. Wegen der hieraus resultierenden unterschiedlichen Steifigkeiten ist die mechanische Verformung im Träger 11 im Vergleich zur mechanischen Verformung in der Membran 10 vernachlässigbar. Die aus dem von außen anliegenden Druck resultierende mechani-

sche Verformung 31 ist durch einen Pfeil, dessen Länge ein Maß für die Verformung ist, veranschaulicht. Die mechanische Verformung ist exemplarisch an einem Punkt, nämlich am Ort des Meßwiderstands 4, dargestellt.

Weiterhin ist im Drucksensor eine erste Deformation 30 vorhanden. Die Ursache der ersten Deformation 30 ist eine mechanische Störspannung, auf deren Ursache im folgenden Abschnitt näher eingegangen werden soll. Jedem Punkt im Drucksensor kann eine solche erste Deformation zugeordnet werden, jedoch sollen nur zwei Punkte im Drucksensor betrachtet werden. Diese beiden Punkte seien der Ort des Meßwiderstands 4 und der Ort des Kompensationswiderstands 5. Im hier gewählten Ausführungsbeispiel sei die erste Deformation 30 überall gleich, diese Einschränkung ist aber nicht zwingend und wird in der Beschreibung zu Fig. 4 fallengelassen.

Der Meßwiderstand 4 und der Kompensationswiderstand 5 sind so dimensioniert, daß ihre piezoresistiven Koeffizienten betragsmäßig gleich sind. Ebenso seien die Absolutwerte des elektrischen Widerstands bei gleichen äußeren Bedingungen gleich. Somit sind die Änderungen des elektrischen Widerstands im Meßwiderstand 4 und im Kompensationswiderstand 5 aufgrund der ersten Deformation 30 betragsmäßig gleich. Da jedoch einmal der Widerstand in Richtung der Deformation und einmal senkrecht zur Deformation gemessen wird, weisen die beiden Widerstandsänderungen ein unterschiedliches Vorzeichen auf. Die Gesamtwiderstandsänderung des Ersatzwiderstands für die Serienschaltung aus Meßwiderstand 4 und Kompensationswiderstand 5 aufgrund der ersten Deformation 30 ist somit Null. Somit bleibt ausschließlich die Änderung des Meßwiderstands aufgrund der zweiten Deformation 31, welcher der Kompensationswiderstand 5, der sich auf dem Träger 11 befindet, nicht ausgesetzt ist.

Die senkrechte Orientierung des Kompensationswiderstands 5 relativ zum Meßwiderstand 4 ist nicht unumgänglich. Sie ist jedoch aus verschiedenen Gründen für einen Siliziumwafer mit (100)-Orientierung besonders vorteilhaft. Bei einer Realisierung einer entsprechenden Schaltung auf anderen Substraten oder mit anderen Orientierungen ist darauf zu achten, daß die Widerstände betragsmäßig gleiches, jedoch vorzeichenmäßig entgegengesetztes Verhalten zeigen, und daß der Kompensationswiderstand 5 nicht mit einer zweiten Deformation 31 aufgrund des zu messenden äußeren Drucks beaufschlagt wird.

Anhand der Fig. 3a bis 3d soll eine mögliche Ursache für das Auftreten einer Störspannung illustriert werden. In Fig. 3a ist ein Substrat 2 aus Silizium mit einer darauf befindlichen Elektrode 6 im Querschnitt dargestellt. Zum Verständnis des im Folgenden dargestellten Sachverhalts ist es wichtig zu bemerken, daß der Ausdehnungskoeffizient von Aluminium deutlich größer als der des Siliziums ist. Der effektive Ausdehnungskoeffizient eines Zweischichtsystems aus Aluminium und Silizium liegt zwischen denen der einzelnen Materialien; im hier gewählten Ausführungsbeispiel ist die Siliziumschicht viel dicker, so daß der effektive Ausdehnungskoeffizient des Zweischichtsystems näherungsweise dem von Silizium entspricht.

Durch Abkühlung verkürzt sich das Substrat sowie die Elektrode. In Folge des deutlich Ausdehnungskoeffizienten von Aluminium verkürzt sich die Elektrode 6 etwas stärker an der dem Substrat abgewandten Seite als an der dem Substrat zugewandten Seite. Außerdem herrscht in der Elektrode eine Zugspannung. Diese Situation ist in Fig. 3b sichtbar.

Bei Erreichen der Fließgrenze von Aluminium durch weitere Abkühlung wird die Elektrode 6 plastisch verformbar. Bei weiterer Abkühlung verkürzt sich das Aluminium mit

dem Ausdehnungskoeffizienten von Aluminium, während das Substrat sich mit dem Ausdehnungskoeffizienten von Silizium verkürzt. Zum Ausgleich der unterschiedlichen Verkürzungen fließt das Aluminium. Diese unterschiedlichen Ausdehnungen erfolgen so lange, bis durch das Fließen die internen Spannungen im Aluminium knapp unter die Fließspannung abgebaut wurden.

Bei einer hierauf folgenden Erhöhung der Temperatur dehnt sich das Aluminium zusammen mit dem Silizium aus, wobei im Aluminium zuerst die Zugspannung abgebaut wird, bei weiterer Erhöhung der Temperatur eine Schubspannung aufgebaut wird, bevor es schließlich wiederum zum Fließen kommt. Bei der gleichen Temperatur wie in Fig. 3b tritt die in Fig. 3d gezeigte Situation ein: das Silizium hat die gleichen Abmessungen wie in Fig. 3b, das Aluminium jedoch befindet sich nun unter Schubspannung anstatt unter Druckspannung, da es eine stärkere Kontraktion im Gegensatz zur Expansion vollzogen hat. Diese Spannungen sind ein Beispiel für die oben beschriebenen Störspannungen. Wie der Vergleich von Fig. 3b mit Fig. 3d ergibt, hängt dieser Störspannungszustand nicht nur von der Temperatur ab, welche in Fig. 3b und 3d dieselbe ist, sondern auch von der Temperaturgeschichte. Dieses Verhalten macht den soeben geschilderten Effekt besonders bedeutsam, da er hysteretisches Verhalten zeigt.

Es sind auch andere Quellen von Störspannungen denkbar, welche nicht alle hysteretisches Verhalten zeigen. So können auch Störspannungen entstehen, wenn ein Mehrschichtsystem mit verschiedenen Materialien mit verschiedenen Ausdehnungskoeffizienten realisiert wird. Diese sind jedoch nicht hysteretisch. Ebenso kann eine Störspannung durch nicht spannungsfreie Montage des Drucksensors induziert werden. Auch diese ist nicht hysteretisch. Die beanspruchte Anordnung bewirkt eine Kompensation von Störspannungen jeder Art. Elastische Störspannungen sind jedoch für die Einsetzbarkeit der Drucksensoren weniger bedeutsam; vielmehr ist es das hysteretische Verhalten, welches die Einsetzbarkeit des Drucksensors beeinträchtigt.

Die durch die Metallisierung induzierten hysteretischen Störspannungen sind ungefähr umgekehrt proportional zum Abstand vom Rand der Aluminiumschicht. In einem solchen Fall muß das Produkt aus Widerstandswert und Abstand des Widerstands vom Zentrum der Störspannung für den Meßwiderstand und den Kompensationswiderstand etwa gleich sein, so daß der Effekt der Störspannung auf den Kompensationswiderstand und der Effekt der Störspannung auf den Meßwiderstand sich gegenseitig aufheben.

Hierbei ist es vorteilhaft, den Kompensationswiderstand möglichst klein zu wählen, und demzufolge möglichst nahe an der hystereseverursachenden Elektrode zu platzieren, da dies die Meßbarkeit des Meßwiderstands vergrößert, da er einen größeren Anteil am Ersatzwiderstand der Serienschaltung aus Meßwiderstand und Kompensationswiderstand hat.

Fig. 4 zeigt ein weiteres Ausführungsbeispiel für einen Drucksensor mit Hystereseaussgleich. Wiederum weist der Drucksensor ein Substrat 2 auf, in welchem in der aus Fig. 1 bekannten Weise eine Membran realisiert wurde. In der Außenzone des Trägers 11 befindet sich ein Bereich, welcher hier schematisch als Metallisierung 12 bezeichnet wurde. Die Metallisierung 12 ist hier der Sammelbegriff für die Elektroden 6 sowie alle anderen Metallisierungsschichten, welche zur Realisierung einer Auswertelektronik notwendig sind. Auf der Membran sind vier Meßwiderstände angebracht, wobei alle vier Widerstände parallel zueinander und in der Nähe der Mitten der Begrenzungslinien der Membran liegen. Darüber hinaus weist der Drucksensor vier Kompensationswiderstände 5 auf, welche alle parallel zueinander und senkrecht zu den Meßwiderständen 4 sind. Jeder Kom-

pensionswiderstand 5 ist einem anderen Meßwiderstand 4 zugeordnet und befindet sich in dessen räumlicher Nähe auf dem Trägersegment, welches nicht mit der Metallisierungsschicht versehen ist. Die Meßwiderstände 4 und die Kompensationswiderstände 5 sind mit Hilfe der Verbindungsleiter 7 zu einer Ringschaltung verbunden, in welcher sich Kompensationswiderstände und Meßwiderstände abwechseln, dergestalt, daß immer benachbarte Widerstände verbunden werden und ein möglichst großer Teil der Verbindungsleiter auf dem nicht mit der Metallisierung 12 bedeckten Träger 11 geführt wird.

Da hier der Kompensationswiderstand näher am hystereseverursachenden Element befindlich ist als der Meßwiderstand, und demzufolge größeren ersten mechanischen Deformationen 30 ausgesetzt ist als der letztere, ist der elektrische Widerstand des Kompensationswiderstands entsprechend kleiner als der elektrische Widerstand des Meßwiderstands.

Die so angeordneten Widerstände bilden eine hysteresekompensierte Wheatstone-Brücke, wobei das Ausgangssignal an einander diagonal gegenüberliegenden Ecken abgegriffen wird. Jeder Meßwiderstand in der Wheatstone-Brücke erfährt in diesem Ausführungsbeispiel seinen individuellen Hystereseausgleich.

Patentansprüche

1. Halbleiter-Drucksensor zur Messung eines von außen anliegenden Drucks aus einem Halbleitersubstrat, wobei nur ein als Membran ausgebildeter Bereich des Substrats durch den von außen anliegenden Druck verformbar ist, wobei im Substrat eine innere mechanische Störspannung vorhanden ist, durch welche das gesamte Substrat verformt wird, mit mindestens einem auf der Membran angeordneten Meßwiderstand (4), der einen durch die Verformung veränderlichen elektrischen Widerstand aufweist, **dadurch gekennzeichnet**, daß auf dem Substrat, außerhalb der Membran, mindestens ein durch eine Verformung veränderlicher Kompensationswiderstand (5) angeordnet ist, der mit dem Meßwiderstand (4) in Serie geschaltet ist, wobei die Änderung des elektrischen Widerstands aufgrund der internen mechanischen Störspannung für den Meß- und den Kompensationswiderstand betragsmäßig ungefähr gleich und von unterschiedlichem Vorzeichen ist.

2. Drucksensor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß sich auf der Membran vier Meßwiderstände befinden, welche in einer Wheatstone-Meßbrücke angeordnet sind.

3. Drucksensor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß jedem Meßwiderstand wenigstens ein Kompensationswiderstand zugeordnet ist.

4. Drucksensor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß nur einer Brückenhälfte je ein Kompensationswiderstand einem Meßwiderstand zugeordnet ist.

5. Drucksensor nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß eine zweite Wheatstone-Brücke bestehend aus Kompensationswiderständen vorgesehen ist, mit deren Brückensignal das Brückensignal der Wheatstone-Meßbrücke aus Meßwiderstände in geeigneter Form beaufschlagbar ist.

6. Drucksensor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Meßwiderstände durch lokales Dotieren des Substrats erzeugt sind.

7. Drucksensor nach einem der vorhergehenden An-

sprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Substrat aus Silizium besteht.

8. Drucksensor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Substrat eine (100)-Oberfläche aufweist, die Meßwiderstände in einer der {011}-Richtungen verlaufen und der zugehörige Kompensationswiderstand senkrecht zum Meßwiderstand liegt.

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

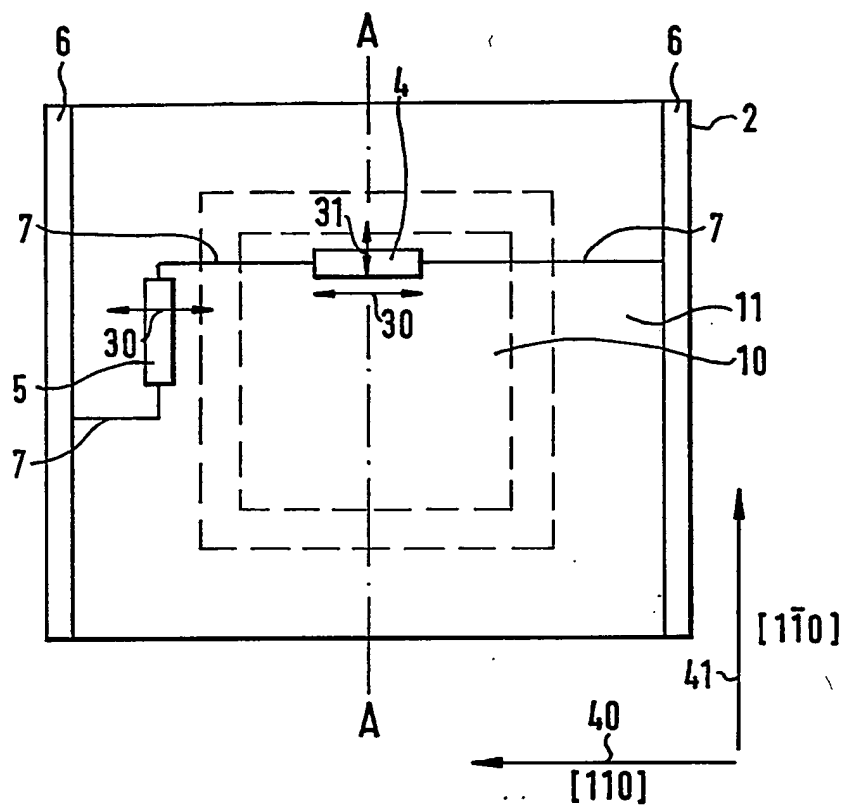


FIG. 1

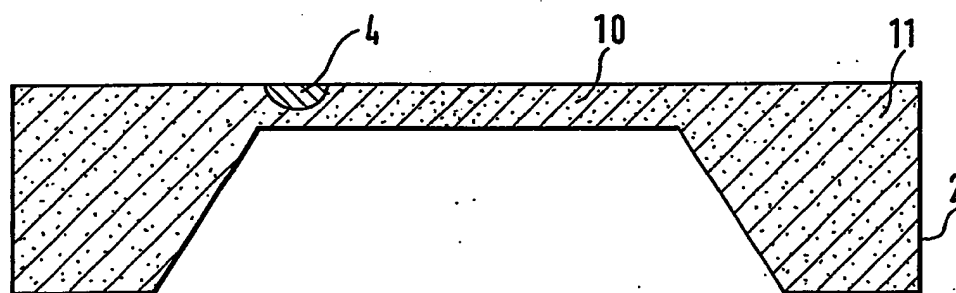


FIG. 2

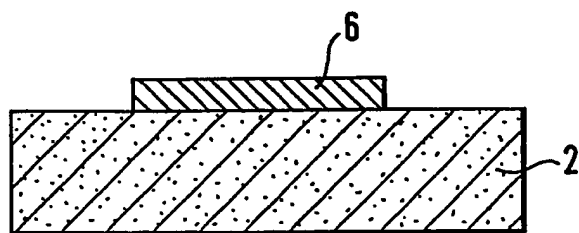


FIG. 3a

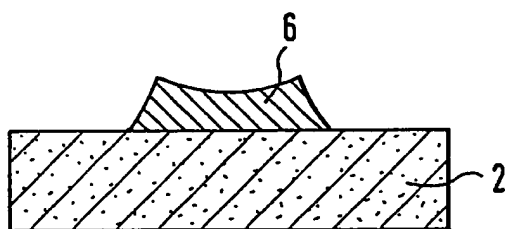


FIG. 3b

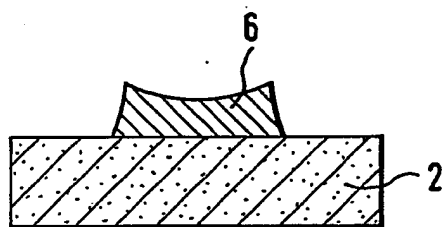


FIG. 3b

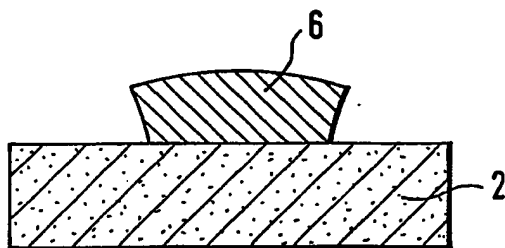


FIG. 3d

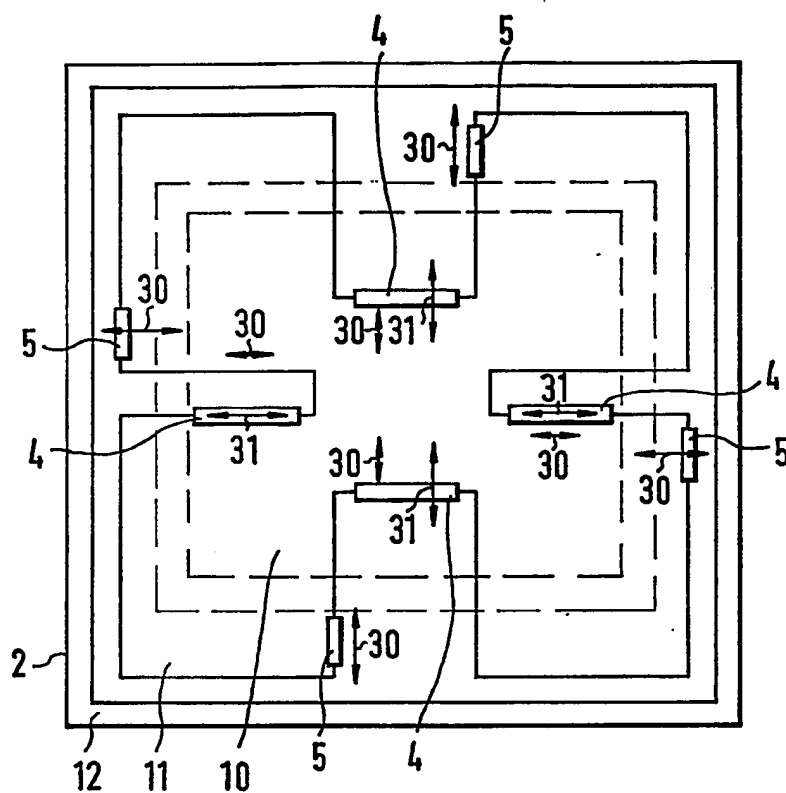


FIG. 4